



500.42876X00

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant(s): K. Matsumoto, et al.

Serial No.: 10/616,972

Filed: July 11, 2003

Title: Screw compressor and method of manufacturing rotors thereof.

**LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

November 6, 2003

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on:

**Japanese Patent Application No. 2003-006501  
Filed: January 15, 2003**

A certified copy of said Japanese Patent Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

Alan E. Schiavelli  
Registration No. : 32,087

AES/rr  
Attachment

(●)

1048(27)

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日      2003年 1月15日  
Date of Application:

出願番号      特願2003-006501  
Application Number:

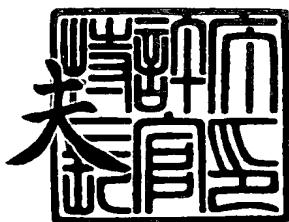
[ST. 10/C] : [JP2003-006501]

出願人      株式会社 日立インダストリーズ  
Applicant(s):

2003年10月10日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3083727

【書類名】 特許願

【整理番号】 1502008131

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B23F 15/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都足立区中川四丁目13番17号 株式会社 日立  
インダストリイズ内

【氏名】 松本 一宏

【発明者】

【住所又は居所】 東京都足立区中川四丁目13番17号 株式会社 日立  
インダストリイズ内

【氏名】 加藤 吐夢

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社 日立製作所  
機械研究所内

【氏名】 亀谷 裕敬

【特許出願人】

【識別番号】 000233077

【氏名又は名称】 株式会社 日立インダストリイズ

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【電話番号】 03-3212-1111

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 スクリュウ圧縮機およびそのロータの製造方法と製造装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ケーシング内に軸方向にねじれたスクリュウ溝を形成してある雄ロータと雌ロータを有し、これら両ロータが各ロータに固定したタイミングギヤによって所望の微少間隙を保持しながら回転するスクリュウ圧縮機において、

該各ロータはそれらの各スクリュウ溝にそのねじれ方向に沿った微少深さの凹条を備えているものであることを特徴とするスクリュウ圧縮機。

【請求項 2】

上記請求項 1 に記載のスクリュウ圧縮機において、該凹条は各スクリュウ溝の全面に各スクリュウ溝のねじれ方向に沿って並行して設けてあることを特徴とするスクリュウ圧縮機。

【請求項 3】

上記請求項 1 に記載のスクリュウ圧縮機において、該両ロータの曲面が凸面と凸面の組み合わせになる個所においては該凹条における個々の幅と隣接する凹条同士のピッチ間隔を凸面と凹面の組み合わせになる個所よりも狭くしてあることを特徴とするスクリュウ圧縮機。

【請求項 4】

上記請求項 1 に記載のスクリュウ圧縮機において、該雄ロータにおけるスクリュウ溝の底部における該凹条は個々の幅と隣接する凹条同士のピッチ間隔を該底部以外における該凹条よりも狭くしてあることを特徴とするスクリュウ圧縮機。

【請求項 5】

上記請求項 1 に記載のスクリュウ圧縮機において、該両ロータの回転で形成される両ロータ間における微少間隔最小部の移動経路と該凹条が交差する領域では該凹条に空気に対する流体抵抗を増加させる手段を設けてあることを特徴とするスクリュウ圧縮機。

【請求項 6】

上記請求項1に記載のスクリュウ圧縮機において、該両ロータの回転で形成される両ロータ間における微少間隔最小部の移動経路と該凹条が交差する領域では該凹条の表面を荒らしてあることを特徴とするスクリュウ圧縮機。

#### 【請求項7】

ケーシング内に軸方向にねじれたスクリュウ溝を形成してある雄ロータと雌ロータを有し、これら両ロータが各ロータに固定したタイミングギヤによって所望の微少間隙を保持しながら回転するスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法において、

工具としてボールエンドミルを備えたマシニングセンタによる切削加工で雄ロータあるいは雌ロータにおけるスクリュウ溝のねじれ方向に沿った微少深さの凹条形成をする仕上げ加工を行うことを特徴とするスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法。

#### 【請求項8】

上記請求項7に記載のスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法において、該両ロータの曲面が凸面と凸面の組み合わせになる個所においては該凹条の形成を凸面と凹面の組み合わせになる個所に凹条を形成するボールエンドミルよりも工具半径が小さいものを用いることを特徴とするスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法。

#### 【請求項9】

上記請求項7に記載のスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法において、該雄ロータにおけるスクリュウ溝の底部に形成する該凹条は底部以外における凹条を形成するボールエンドミルよりも工具半径が小さいもので形成することを特徴とするスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法。

#### 【請求項10】

上記請求項7に記載のスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法において、該両ロータの回転で形成される両ロータ間における微少間隔最小部の移動経路と該凹条が交差する領域ではボールエンドミルによりアップカット加工を行うことを特徴とするスクリュウ圧縮機におけるロータの製造方法。

#### 【請求項11】

ケーシング内に軸方向にねじれたスクリュウ溝を形成してある雄ロータと雌ロータを有し、これら両ロータが各ロータに固定したタイミングギヤによって所望の微少間隙を保持しながら回転するスクリュウ圧縮機におけるロータの製造装置において、

マシニングセンタが、工具としてのボールエンドミルと、該ボールエンドミルで雄ロータあるいは雌ロータにおけるスクリュウ溝のねじれ方向に沿った微少深さの凹条形成をする仕上げ加工を行う制御部を備えていることを特徴とするスクリュウ圧縮機におけるロータの製造装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

###### 【発明の属する技術分野】

本発明は、ケーシング内に軸方向にねじれたスクリュウ溝を形成してある雄ロータと雌ロータを有し、これら両ロータが各ロータに固定したタイミングギヤによって所望の微少間隙を保持しながら回転するスクリュウ圧縮機およびそのロータの製造方法と製造装置に係り、特に両ロータの回転中における圧縮空気の漏れが少なくて高い圧縮効率が得られるスクリュウ圧縮機およびそのロータの製造方法と製造装置に関するものである。

##### 【0002】

###### 【従来の技術】

スクリュウ圧縮機では、ケーシング内に雄ロータと雌ロータを収容するボアを形成してある。このボアは、断面円形状で互いに平行な雄ロータ側ボアと雌ロータ側ボアに分かれている。雄ロータ側ボアと雌ロータ側ボアにおける各々の中心と雄ロータと雌ロータのそれぞれの軸心は一致してあって、雄ロータと雌ロータは雄ロータと雌ロータの各歯は接触しない程度の微少間隙をもってタイミングギヤを介して回転し、その回転で空気を吸い込んで吐き出し、圧縮機として用いたり真空ポンプとして用いたりしている。

##### 【0003】

スクリュウ圧縮機における重要な問題は、雄ロータと雌ロータが回転しているときに雄ロータと雌ロータの間の間隙や雄ロータあるいは雌ロータとこれらを収

容するボアの間の間隙で圧縮した空気が漏れて、所望の圧縮効率が得られないことである。

#### 【0004】

従来、この問題を解決するために各ロータの歯形を高精度に成形するようにしておき、そのための加工法として総型歯形刃具によるフライス加工、ホブカッタによるホブ加工や高剛性N C 旋盤による旋盤加工などが提案されている（下記文献参照）。

#### 【0005】

##### 【特許文献1】

特開平8-197331号公報

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

高い圧縮効率を得るために特に高精度な加工が要求される場合は、上記従来技術では充分とは云えず、砥石を備えた研削盤による研削加工で歯形成形を行っていた。

#### 【0007】

ロータの材質は高剛性のものを用いていることから砥石の磨耗が早く、あるいは容量が異なるスクリュウ圧縮機のロータを研削するためなどに砥石を交換した場合には精度維持のため新しい砥石での試し削りが必要であり、また、歯型形状を測定しては仕上げ研削加工を行っている。従って、多品種生産の場合には、人手と時間を要してしまう問題があった。

#### 【0008】

また、大容量スクリュウ圧縮機用のロータの研削加工に用いる砥石は大型で重量もかなり重いために、砥石交換時にクレーンを使用しなければならず、人手作業となり自動加工化の障害となっていた。

それゆえ本発明の目的は、圧縮した空気の漏れが少なくて高い圧縮効率が得られるスクリュウ圧縮機を提供することにある。

#### 【0009】

また、本発明の目的は、高い圧縮効率が得られるスクリュウ圧縮機のロータを

容易に製造することができる製造方法とその製造装置を提供することにある。

#### 【0010】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明スクリュウ圧縮機の特徴とするところは、ケーシング内に軸方向にねじれたスクリュウ溝を形成してある雄ロータと雌ロータを有し、これら両ロータが各ロータに固定したタイミングギヤによって所望の微少間隙を保持しながら回転するスクリュウ圧縮機において、該各ロータはそれらの各スクリュウ溝にそのねじれ方向に沿った微少深さの凹条を備えていることにある。

#### 【0011】

上記目的を達成する本発明スクリュウ圧縮機の製造方法の特徴とするところは、工具としてボールエンドミルを備えたマシニングセンタによる切削加工で雄ロータあるいは雌ロータにおけるスクリュウ溝のねじれ方向に沿った微少深さの凹条形成をする仕上げ加工を行うことである。

#### 【0012】

また、上記目的を達成する本発明スクリュウ圧縮機の製造装置の特徴とするところは、マシニングセンタが、工具としてのボールエンドミルと、該ボールエンドミルで雄ロータあるいは雌ロータにおけるスクリュウ溝のねじれ方向に沿った微少深さの凹条形成をする仕上げ加工を行う制御部を備えていることにある。

#### 【0013】

各ロータの各スクリュウ溝は空気の吸込口から吐出口に向けて設けるものであるから、各ロータの各スクリュウ溝にそのねじれ方向に沿って形成した微少深さの凹条は圧縮した空気が漏れる間隙というよりも吐出口に向かう圧縮空気の通路となり、スクリュウ溝の表面に凹凸を設けて間隙が存在しているのに表面に高精度に表面を研削して間隙を狭くする場合よりも、逆に漏れは減少する。

#### 【0014】

このような凹条形成はマシニングセンタの工具としてボールエンドミルを用いて実行するので、工具取り替えは容易であるし、マシニングセンタによる制御も容易で、作業者に多大な負担が掛からない。

#### 【0015】

### 【発明の実施の形態】

以下、本発明を図1乃至図3に示した一実施形態に基いて説明する。

#### 【0016】

図1は本発明になるスクリュウ圧縮機1を上から見た縦断面図、図2はそのスクリュウ圧縮機1を横から見た縦断面図、図3はスクリュウ圧縮機1における雄ロータ5と雌ロータ6の配置状況を示す斜視図である。

#### 【0017】

図1乃至図3において、ケーシング2は主ケーシング2aと吐出側ケーシング2bおよびエンドカバー2cとからなり、主ケーシング2a内にボア3、4がある。ボア3、4は断面円形状で互いに平行であり、ボア3内に雄ロータ5、ボア4内に雌ロータ6を収容している。雄ロータ5の歯の数は4枚、雌ロータ6の歯の数は6枚で、雄ロータ側ボア3と雌ロータ側ボア4における各々の中心と雄ロータ5と雌ロータ6のそれぞれの軸心は一致している。そして雄ロータ5と雌ロータ6は、それらの各歯が接触しない程度の微少間隙をもってタイミングギヤ7、8を介して図3に示すように互いに逆方向に回転する。

#### 【0018】

雄ロータ5とタイミングギヤ7と雌ロータ6とタイミングギヤ8はそれぞれ焼き嵌めにより強固に結合してある。タイミングギヤ7は図示していないプルギヤと噛み合っており、このプルギヤによってタイミングギヤ7を介して雄ロータ5が回転し、雌ロータ6はタイミングギヤ7と噛み合っているタイミングギヤ8を介して回転する。

#### 【0019】

9、10と11、12はそれぞれ主ケーシング2aと吐出側ケーシング2bに各ロータ5、6を回転可能に保持するベアリングであり、13、14と15、16はそれぞれ主ケーシング2aや吐出側ケーシング2bと各ロータ5、6の間に設けた軸封装置である。主ケーシング2aとボア3、4は二重構造であり、内部空間は冷却媒体を吐出側ケーシング2b側から供給するようになっている。

#### 【0020】

17は空気の吸入口、18は圧縮した空気の吐出口である。主ケーシング2a

とエンドカバー2cで構成する空間は油溜りとして潤滑油19を封入しており、雌ロータ6の端部に固定したスリング20は雌ロータ6の回転に従って潤滑油を跳ね飛ばし、ベアリング9, 11に潤滑油を供給する。

#### 【0021】

雄ロータ5と雌ロータ6の各スクリュウ溝における全面にそのねじれ方向に沿った微少深さを持つ多数の凹条5a, 6aを設けてある。両ロータ5, 6をエンドカバー2c側から見た状態で示している図3では、簡略化のために多数の凹条5a, 6aのうちの1条づつを点線で示している。

#### 【0022】

次に、多数の凹条5a, 6aを雄ロータ5と雌ロータ6の各スクリュウ溝全面に形成する製造方法とその装置について説明する。

#### 【0023】

図4は、雄ロータ5と雌ロータ6の各スクリュウ溝全面に多数の凹条5a, 6aを形成する製造装置としてのマシニングセンタ31とその制御部（制御盤）であるパソコン51を示す概略図である。

マシニングセンタ31には、基台32上において水平なX, Yの各方向に移動し得るマシニングセンタ本体33があり、マシニングセンタ本体33は、油圧式ホルダ34でボールエンドミル35をZ軸下方向に保持して、ボールエンドミル35をX, Y各軸方向及びZ軸（上下）方向に移動させる。基台32上には回転テーブル36があり、その回転軸（回転A軸）は水平でX軸方向を向いていて、回転中心には超硬センタ37を取付けてある。回転テーブル36の超硬センタ37に対向させて芯押し台38を設けてあり、超硬センタ37と芯押し台38の間で雄ロータ5（あるいは雌ロータ6）を両センタ支持する構造となっていて、支持した雄ロータ5（あるいは雌ロータ6）をA軸廻りで回転させる。パソコン51はパソコン本体52とモニタ画面53とキーボード54からなり、後述するソフトプログラムでマシニングセンタ31を駆動制御する。マシニングセンタ31とパソコン51を繋ぐケーブルは図示を省略している。

#### 【0024】

次に、図5により、雄雌各ロータ5, 6の製造工程について説明する。

先ず、ステップ（以下、「S」と略記する。）100で従来公知の加工機械により雄ロータ5あるいは雌ロータ6の粗加工をする。なお、以下の説明は、雄ロータ5を製造することとして説明を進める。

### 【0025】

S200で、粗加工後の雄ロータ5の形状測定をする。

この測定は、図4に示したマシンニングセンタ31のホルダ34にボールエンドミル35に代えて、図6に示すようにタッチプローブ39を装着して行う。

### 【0026】

雄ロータ5の形状測定の詳細を図7、図8を引用しつつ説明する。

先ず、マシンニングセンタ31のX軸に雄ロータ5の軸中心を正しくセットしてあるか、確認をする。即ち、X軸方向については例えば、タイミングギヤを嵌める円筒部5Bの端面位置にタッチプローブ39を当接させて、マシンニングセンタ31に内蔵のエンコーダでタッチプローブ39の位置座標データを得る。

### 【0027】

続いて、ベアリング9、10を嵌める円筒部5A、5Bの外周3箇所にタッチプローブ39を当接させて、マシンニングセンタ31に内蔵のエンコーダでタッチプローブ39の位置座標データを得る。この時の3データを円に内接する三角形の角位置として円の中心位置を算出し、雄ロータ5の軸中心を得る。あるいは、タッチプローブ39でY軸方向最外周位置において直径の位置座標データを得てY軸方向中心位置を算出し、Z軸方向で最外周位置からにおいてZ軸方向に半径距離垂下した位置を雄ロータ5の軸中心とする。そして、軸中心とマシンニングセンタ31のX軸の中心を一致させる。

### 【0028】

次に、A軸方向に雄ロータ5を正しくセットするために、図7のS201で図8（a）のようにタッチプローブ39により任意なX軸方向における歯位置で歯のZ軸上の位置データTaを測定する。なお、図8で実線は雄ロータ5の実際の輪郭を表し、点線は設計上の輪郭を示している。位置データTaに対応した設計上の位置データはパソコン本体52に予め分かっているから、両位置データの偏差 $\Delta t_a$ は即座に得られる。そして、S202で回転テーブル36により雄ロ

タ5をA軸方向に回転させ向かい側の歯にタッチプローブ39を当接させて、位置データTbを測定する。この時の設計上の位置データもパソコン本体52は分かっているので、偏差 $\Delta tb$ を算出する。

#### 【0029】

次にS203で偏差 $\Delta ta$ と偏差 $\Delta tb$ の大小関係を求めて、偏差 $\Delta ta$ の方が大きいならS204に進み、小さければS205に進む。偏差 $\Delta ta$ が偏差 $\Delta tb$ より小さい場合を図8 (b) で示している。

#### 【0030】

S204あるいはS205では、それぞれA軸を予め決めておいた微少角度だけマイナス方向あるいはプラス方向に回転させ、再び点Ta, Tbの位置データをS206, S207で計測し、微少角度回転後の新たな位置偏差 $\Delta ta$ と偏差 $\Delta tb$ を得る。その後S208でそれらの差が取代許容値以内かどうか判断し、許容値以内であれば、その時のA軸位置を原点として決定して(S209)、終了とするが、許容値以外であればS203に戻って、許容値以内になるまで以上説明した処理を繰り返して終了とする。これで、雄ロータ5のセットが終了する。

#### 【0031】

次ぎに、図9に示す測定プロフィールKについて説明する。

図6のように、雄ロータ5の任意の位置にタッチプローブ39を当接させ、A軸周りに雄ロータ5を微少角度づつ回転させた後タッチプローブ39を当接させタッチプローブ39に内蔵のエンコーダから算出した雄ロータ表面のZ軸方向位置データを求めるなどを繰り返し、図10のようなX軸方向での断面の形状を得る。そして、雄ロータ5をX軸方向に微少距離ずらしてタッチプローブ39を当接させ、ここでも図10のようなX軸方向での断面の形状を得る。このようなことを雄ロータ5のX軸方向全長に亘って実行し計測したXYZの各位置データを総合すれば、図6に示す雄ロータ5の外形を描くことができる。実際には、雄ロータ5のX軸方向両端から任意距離間、例えば、10mmづつについて計測をして、計測をしない領域については画像処理で計測をした領域の形状をスクリュウ溝のねじれの方向に延長させて全外形を創作する。これがS200での測定である。

る。

### 【0032】

そして、吸込側の始点  $P_s$  から吐き出し側の終点  $P_e$  に亘る X 軸方向移動位置と A 軸方向回転角に対し原点を基に立体的に示すと、図 9 の測定プロフィール K を得ることができる。

### 【0033】

なお、3 次元測定器を用いれば、雄オスロータ 5 の外形をセンサでなぞって計測して、図 9 に示す吸込側の始点  $P_s$  から吐き出し側の終点  $P_e$  に亘る X 軸方向移動位置と A 軸方向回転角に対し原点を基に立体的に表す任意位置の測定プロフィール K だけでなく雄ロータ 5 における全表面のプロフィールを容易に得ることができる。

### 【0034】

X 軸方向に微少距離移動させつつ A 軸方向に微少角度回転させたときの X 軸方向全長に亘る設計上の Z 軸方向位置データを設計上のプロフィールとして、これをボールエンドミル 3 5 によるスクリュウ溝のねじれ方向に沿った微少深さの凹条加工のための設計値とする。

### 【0035】

S 200 で測定を終了したら、S 300 で仕上げ加工が必要かどうか判定をする。図 5 の粗加工 S 100 では仕上げ加工 S 500 を越える加工を施すことは無く、図 10 に実線で示すように雄ロータ 5 の輪郭が持つデータは仕上げ加工後の点線で示す設計上の輪郭が持つデータより大きい。従って、両輪郭が持つデータの偏差から仕上げ加工が必要と判定され、S 400 において仕上げ加工のための上記偏差に補正処理を施してから S 500 で仕上げ加工を行う。

### 【0036】

この仕上げ加工は、ボールエンドミル 3 5 によるスクリュウ溝のねじれ方向に沿った微少深さの凹条加工をするものである。この凹条（図 3 の 5a あるいは 6a）は、各スクリュウ溝の全面に各スクリュウ溝のねじれ方向に沿って並行して多数本設けている。

### 【0037】

個々の凹条加工は、図4におけるマシンニンギングセンタ31の仕上げ加工を行うボールエンドミル35はZ軸方向の位置は不变でZ軸周りに回転しており、雄ロータ5を回転テーブル36によりA軸を微少角度づつ回転させながらマシンニンギングセンタ本体33をX軸方向に微少距離づつ移動させることにより、図9に示すように、吸込側の始点P<sub>s</sub>から吐き出し側の終点P<sub>e</sub>にかけてのプロフィールKをもつ凹条を形成できる。これを、雄ロータ5を計測して得た測定プロフィールKと設計上のプロフィールKが一致するように、雄ロータ5の全スクリュウ溝について、補正処理をしながら凹条の形成を実行する。

### 【0038】

ここで、上記補正処理について説明する。

上記仕上げ加工では、ボールエンドミル35は図11に実線で示すようにZ軸方向に真直ぐ伸びて最下端で加工をすることを予定して加工の設定をするようになっているが、雄ロータ5や雌ロータ6の加工面はスクリュウ溝であり、傾斜面に当接して切削をする。この場合、ボールエンドミル35は、傾斜面で反力を受けて点線で示すように撓んでいる。図10のように雄ロータ5や雌ロータ6のスクリュウ溝はインボリュート形状を持たせており、接触角 $\alpha$ は一様でないことからボールエンドミル35の撓み量は変動し、接触角 $\alpha$ が小さければ撓み量は小さく、接触角 $\alpha$ が大きければ撓み量は大きくなって、撓み量の違いが加工精度の差となる。具体的には、撓み量は大きいと切削不足となる。

### 【0039】

そこで、その補正をして所望の仕上げ加工になるようにするのが、図5における補正処理S400である。

次に、その補正処理S400について説明する。

### 【0040】

図12において、ボールエンドミル35は実線で示す傾斜面の任意の切削位置Gで雄ロータ5を切削をしているとする。ボールエンドミル35のボール中心Hは、切削位置Gの法線ベクトルnの延長上にある。マシンニンギングセンタ31のNCデータ指令点Mは、ボールエンドミル35の先端（最下端）であり、ボールエンドミル35の軸線ベクトルeの延長上にある。ここで、切削位置Gの位置データ

タを  $P_o$ 、ボールエンドミル 35 の工具半径を  $r$  とすると、NC データ指令点  $M$  の位置データ  $T_{nco}$  は、次式で表すことができる。

【0041】

【数1】

【数1】

$$T_{nco} = P_o + r \cdot n - r \cdot e \quad \dots (1)$$

切削位置  $G$  の法線ベクトル  $n$  について逆方向の延長上の位置  $F$  までボールエンドミル 35 で切削しようとする場合、両位置  $F$ ,  $G$  間の距離を  $\Delta d$  とすれば、位置  $F$  の位置データ  $P_a$  は次式で表すことができる。

【0042】

【数2】

【数2】

$$P_a = P_o - \Delta d \cdot n \quad \dots (2)$$

以上のことから、位置  $F$  で切削するボールエンドミル 35 の NC データ指令点  $L$  の位置データ  $T_{nca}$  は、次式で表すことができる。

【0043】

【数3】

【数3】

$$\begin{aligned} T_{nca} &= P_a + r \cdot n - r \cdot e \\ &= P_o - \Delta d \cdot n + r \cdot n - r \cdot e \quad \dots (3) \end{aligned}$$

数3により歯形形状の設計値全てについてボールエンドミル35のNCデータ指令点Lの位置データTncaを求めれば、図12に点線で示す傾斜面まで切削が進むことになる。即ち、位置Gは図5に示す粗加工後の測定処理S200で得た測定データとして、位置Fで切削するためにボールエンドミル35のNCデータ指令点Lの位置データTncaを求めれば、仕上げ加工処理S500に対する補正処理S400をしたことになる。

#### 【0044】

そして、図5の仕上げ加工処理S500が予定通り実行されたか測定処理S200に戻ってタッチプローブ39で確認する。判定処理S300で加工不足と判断された場合は、再びS400で補正処理を行うが、この場合はボールエンドミル35の撓みが主たる原因となる。

#### 【0045】

図5の判定処理S300で合格判定がでたら、噛合テストS600で対をなす基準ロータ（雄ロータ5を加工しているときは雌の基準ロータ、雌ロータ6を加工しているときは雄の基準ロータ）との噛み合い具合を確認してから、表面処理S700で適宜な表面処理を施して、雄ロータ5の仕上げ加工（製造）は終了する。

#### 【0046】

仕上げ加工S500において複数のボールエンドミル35を使い分ける場合には、上記補正処理S400では各ボールエンドミルについてNCデータ指令点Lの位置データTncaを求める。また、雄雌各ロータ5, 6の形状や材質、ボールエンドミル35の材質や加工速度などによってNCデータ指令点Lの位置データTncaは変わるから、それらの諸データは図4に示したパソコン51のモニタ画面53を利用してキーボード54からパソコン本体52の記憶手段に格納しておき、数式1乃至数式3での補正に使用する。

#### 【0047】

ボールエンドミル35の撓み量を予め把握できるなら、補正処理S400では撓み量を見越して補正の算出をしても良い。

#### 【0048】

図13は、雄雌各ロータ5, 6の噛み合い状況を横断面で示しており、図13(a)は雌ロータ6のスクリュウ溝に雄ロータ5の歯が噛み合った状況、図13(b)は雄ロータ5のスクリュウ溝に雌ロータ6の歯が噛み合った状況である。尚、図13では歯形が分かり易いように、雄ロータ5の歯の枚数は4枚とした。

#### 【0049】

前述したようにスクリュウ溝はインボリュート形状をしていて、雄雌各ロータ5, 6の噛み合い位置によっては、図14(a)に示す凸面と凸面の組み合わせであったり、図14(b)に示す凹面と凸面の組み合わせになったりする。

#### 【0050】

図13(a)における円Aの個所は、図14(b)に示す凹面と凸面の組み合わせであるが、図13(a)における円Bの個所及びは、図13(b)における円Cと円Dの個所は、図14(a)に示す凸面と凸面の組み合わせとなっている。

#### 【0051】

本発明者らの検討によれば、雄雌各ロータ5, 6の微少間隙△が同じでも、図14(a)に示す凸面と凸面の組み合わせは図14(b)に示す凹面と凸面の組み合わせよりも空気の漏れの大きいことが確かめられた。そして凹面や凸面の曲率を変えてみても、この傾向は同じであった。

#### 【0052】

この空気の漏れが多い図13(a)における円Bの個所及びは図13(b)における円Cと円Dの個所は、雄ロータ6におけるスクリュウ溝の底の領域である。

#### 【0053】

この領域での空気の漏れを低減するためには、この領域では雄雌各ロータ5, 6ともども凹条5a, 6aの幅を狭くし隣接する凹条5a同士のピッチ間隔Pを小さくし、流体抵抗を増加させるとよい。

#### 【0054】

そこで、狭幅の凹条5a, 6aの加工について説明する。

図15は、ボールエンドミル35により一例として雄ロータ5に凹条5aの加

工する状況を示している。

#### 【0055】

工具半径  $r$  のボールエンドミル35によりピッチ間隔  $P$  で隣接する凹条5a 同士の溝壁高さ  $h$  の各凹条5aを形成する場合、ボールエンドミル35の工具半径  $r$  とピッチ間隔  $P$  を小さくし凹条5aを拠り多く設けると、隣接する凹条5a 同士の溝壁高さ（溝深さ）  $h$  を維持して、流体抵抗を増加せしめ空気の漏れを少な くすることができる。

#### 【0056】

一例として、直径約120mmの雌ロータ6の仕上げ加工に  $\phi 8$  のボールエンドミルだけを用いてその各スクリュウ溝に深さ（ $h$ ）0, 005mmで194本の凹条6aを設けたが、直径約120mmの雄ロータ5の仕上げ加工においては  $\phi 8$ ,  $\phi 4$ ,  $\phi 2$  の3本のボールエンドミルを用いて各スクリュウ溝に深さ（ $h$ ）0.005mmで287本の凹条5aを設け、特に雄ロータ5の各スクリュウ溝の底部には細かいピッチ  $P$  で狭幅の凹条5aを設けた。

#### 【0057】

このように、凸面と凸面の組み合わせにおいて片方のロータについてだけ空気の漏れを減らす凹条の加工を施しても良いが、両方のロータに施すことが良い。

#### 【0058】

次に、空気の漏れを低減する他の構成について説明する。

スクリュウ圧縮機は雄雌各ロータ5, 6に軸方向にねじれたスクリュウ溝を形成してあり、これら両ロータ5, 6が各ロータ5, 6に固定したタイミングギヤによって所望の微少間隙を保持しながら回転するものであり、微少間隔の最小部は吸い込み側と吐き出し側を区分しており、この微少間隔の最小部は両ロータ5, 6の回転に伴って吸い込み側から吐き出し側へ移動し、吐き出し側では容積が低下していくことによって空気を圧縮をしている。この場合の微少間隔最小部の移動経路をシールラインと呼び、シールラインSLの移動方向は空気を圧縮していく方向である。

#### 【0059】

シールラインSLの移動経路を図示すれば、図16の通りである。

雌ロータ6では図16（a）のシールラインSLのように、a-b-C-F-d-eの経路を取り、雄ロータ5側のシールラインSLは図16（b）のようにf-g-H-M-i-jの経路を取る。雌ロータ6と雄ロータ5に点線で示した加工経路はボールエンドミル35の移動経路であるが、凹条5a, 6aはスクリュウ溝に沿って延びている。図16ではシールラインSLを雌ロータ6と雄ロータ5の表面に示したが、これはシールラインSLと凹条5a, 6aの関係を説明するためであり、現実のシールラインSLでは雌ロータ6上の位置aと雄ロータ5上の位置fが同一であり、以下、bとg, CとH, FとM, dとi、そしてeとjが同一位置である。

#### 【0060】

図16で分かるように、シールラインSLは雌ロータ6と雄ロータ5においてボールエンドミル35の移動経路（凹条5a, 6a）と交差している。

#### 【0061】

図17は雄ロータ5についてシールラインSLの（移動）方向とボールエンドミル35の移動経路（凹条5a）における加工方向を拡大して表したものである。

#### 【0062】

図17（a）はシールラインSLの（移動）方向とボールエンドミル35の加工方向が平行しているが、図17（b）では交差している。図17では空気の漏れ方向も示してあるが、図17（a）ではシールラインSL方向で示す空気の圧縮方向においては凹条5aが延びているのでこの方向に空気の流体抵抗は小さいが直交する方向では凹条5aの側壁が障害となり空気は漏れずらい。これに対し、図17（b）ではシールラインSL方向で示す空気の圧縮方向においては凹条5aの側壁が障害となって流体抵抗は増加するが、シールラインSL方向と交差する方向では凹条5aが延びておりこの方向では凹条5aが空気の横漏れを許す経路となっていることが分かる。

そこで、このシールラインSLがボールエンドミル35の加工方向、即ち、凹条5aと交差する領域では空気の横漏れを防ぐことが望ましい。

#### 【0063】

ボールエンドミル35の加工技術としては、図18に示すダウンカットとアップカットがある。

ダウンカット加工は、図18（a）において一例を雄ロータ5で示すように、加工物の表面から内部に向けて刃先を立ててボールエンドミル35を回転するものであり、アップカット加工は、図18（b）において一例を雄ロータ5で示すように、加工物の内部から表面に向けて刃先を寝かして形でボールエンドミル35を回転するものである。

#### 【0064】

加工後の形状はダウンカット加工の場合は木目にそって鉋をかけるように加工物を削ぐ形であるから表面は滑らかで綺麗であるが、アップカット加工ではカミソリでヒゲの逆剃りをするように加工物をむしり取る形となって表面は荒れる。アップカット加工によって凹条5aを形成し表面が荒れた状況を図19に概略的に示したが、凹条5aにおける表面の荒れは空気にとって流体抵抗となり、漏れを抑える働きをする。即ち、アップカット加工によって形成し荒れた表面を持つ凹条5aは、空気に対する流体抵抗を増加させる手段として機能している。

#### 【0065】

シールラインSLの移動経路は雄雌各ロータ5, 6の形状によって決まり、従って、シールラインSLの移動経路が凹条5a, 6aと交差する領域も定まり、雄雌各ロータ5, 6が回転しても変わらないから、凹条5a, 6aを設ける際、雌ロータ6について一実施形態を示した図20において点線で囲った領域Rの加工はアップカット加工によって行うと良い。図20において点線で囲った領域R以外の凹条6aの加工はダウンカット加工を行うことで、流体抵抗の上昇を避ける。

#### 【0066】

マシンニングセンタ31において、ダウンカット加工とアップカット加工の切り替えはボールエンドミル35を回転方向はそのままとしてボールエンドミル35と加工物の相対移動方向を逆にすれば済むことで簡単であるから、シールラインSLの移動経路が凹条6aと交差する領域Rにおける流体抵抗を高めることに困難は伴わない。

**【0067】**

以上の雄雌各ロータ5, 6におけるスクリュウ溝曲面形状の組み合わせに基づく凹条5a, 6aの幅やピッチ間隔Pの変更及び雄雌各ロータ5, 6の回転で形成されるシールラインSLと凹条5a, 6aの交差に基づく流体抵抗の付与調整は個別に実施してもよいが、併用すると空気の漏れを低減させることにおいて一層効果が発揮される。

**【0068】****【発明の効果】**

以上説明したように、本発明スクリュウ圧縮機によれば、圧縮した空気の漏れが僅かで高い圧縮性能が得られる。

**【0069】**

また、本発明スクリュウ圧縮機の製造方法あるいはその製造装置によれば、圧縮した空気の漏れが僅かで高い圧縮性能が得られるスクリュウ圧縮機のロータを容易に製造することができる。

**【図面の簡単な説明】****【図1】**

本発明の一実施形態になるスクリュウ圧縮機を上から見た縦断面図である。

**【図2】**

図1に示したスクリュウ圧縮機を横から見た縦断面図である。

**【図3】**

図1に示したスクリュウ圧縮機における雄ロータと雌ロータの配置状況を示す斜視図である。

**【図4】**

雄雌各ロータの各スクリュウ溝に凹条を形成する製造装置としてのマシニングセンタとその制御部であるパソコンを示す概略図である。

**【図5】**

雄雌各ロータの製造工程を示す図である。

**【図6】**

図5の測定処理での雄ロータの形状測定状況を説明する図である。

**【図 7】**

図5の測定処理での雄ロータの形状測定状況を説明する図である。

**【図 8】**

図5の測定処理での雄ロータの形状測定状況を説明する図である。

**【図 9】**

図6の測定で得た雄ロータの任意位置での測定プロフィールを示す図である。

**【図 10】**

雄ロータの粗加工後と仕上げ加工後の横断面形状を示す図である。

**【図 11】**

ボールエンドミルによる傾斜面の切削状況を説明する図である。

**【図 12】**

ボールエンドミルによる傾斜面での切削を正確に行うためのNCデータの製作について説明する図である。

**【図 13】**

雄雌各ロータの噛み合い状況を示す横断面図である。

**【図 14】**

雄雌各ロータにおける曲面の組み合わせ状況を示す図である。

**【図 15】**

ボールエンドミル35により雄ロータに凹条の加工する状況を示す図である。

**【図 16】**

雄雌各ロータにおけるシールラインと凹条の状況を説明するための斜視図である。

**【図 17】**

雄雌各ロータにおけるシールラインと凹条と空気の漏れの関係を説明するための斜視図である。

**【図 18】**

マシンニングセンタによるボールエンドミルの加工技術を説明するための図である。

**【図 19】**

マシンニンギングセンタのボールエンドミルでアップカット加工を行った場合の状況を説明するための図である。

【図20】

雌ロータについてボールエンドミルによるアップカット加工とダウンカット加工を行う領域を説明するための図である。

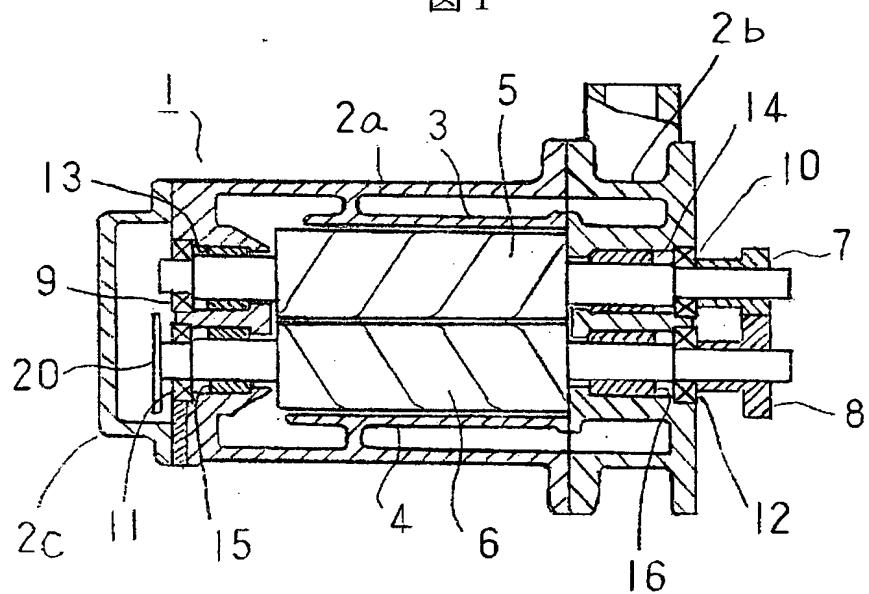
【符号の説明】

- 1 …スクリュウ圧縮機
- 2 …ケーシング
- 3, 4 …ボア
- 5 …雄ロータ
- 5 a …凹条
- 6 …雌ロータ
- 6 a …凹条
- 7, 8 …タイミングギヤ
- 3 1 …マシニングセンタ
- 3 3 …マシニングセンタ本体
- 3 5 …ボールエンドミル
- 3 6 …回転テーブル
- 3 7 …超硬センタ
- 3 8 …芯押し台
- 3 9 …タッチプローブ
- 5 1 …パソコン

【書類名】 図面

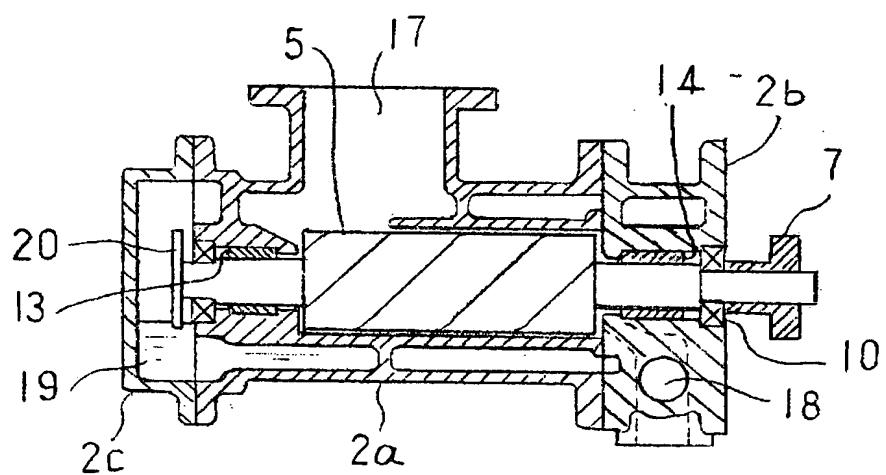
【図1】

図1



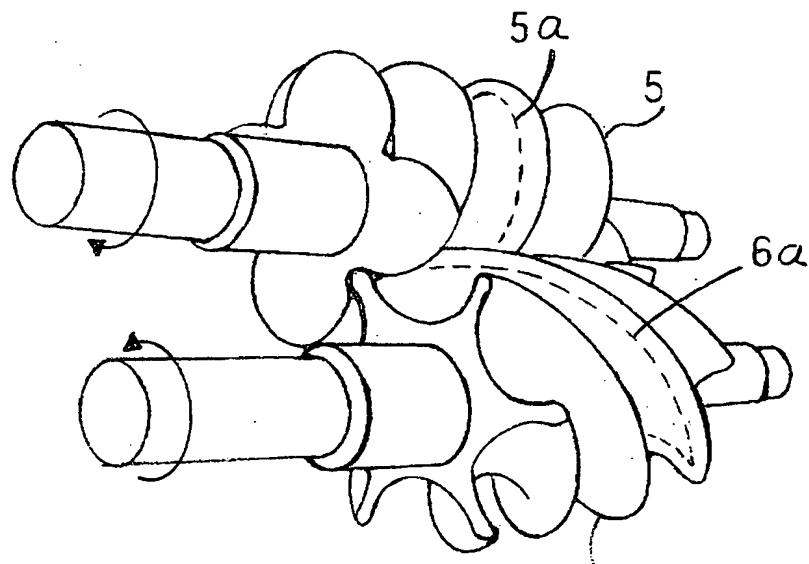
【図2】

図2



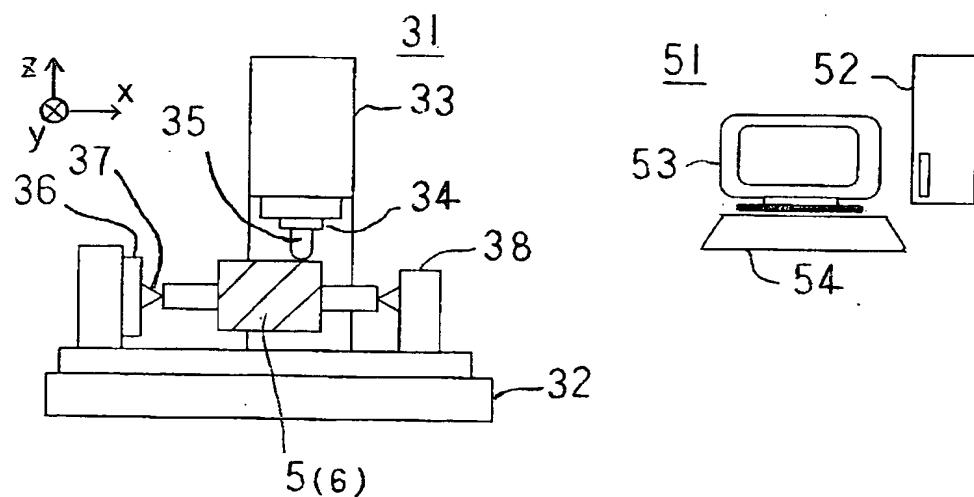
【図3】

図3



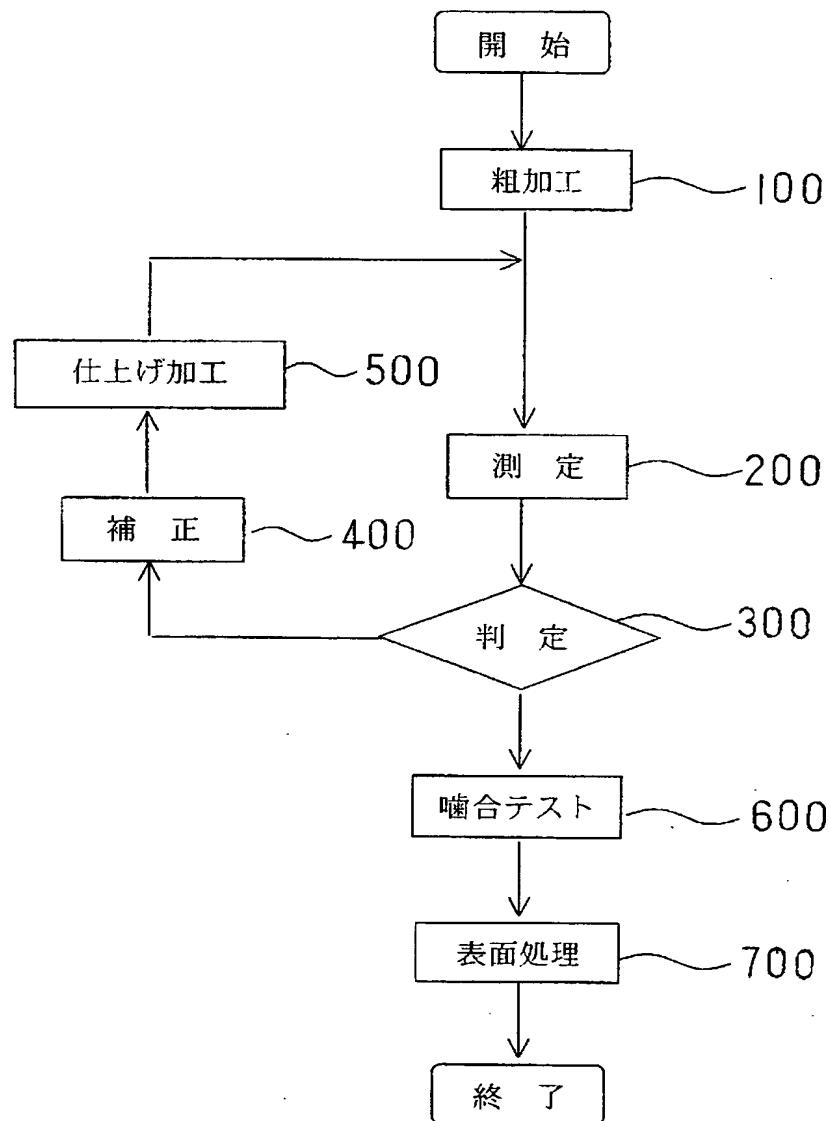
【図4】

図4



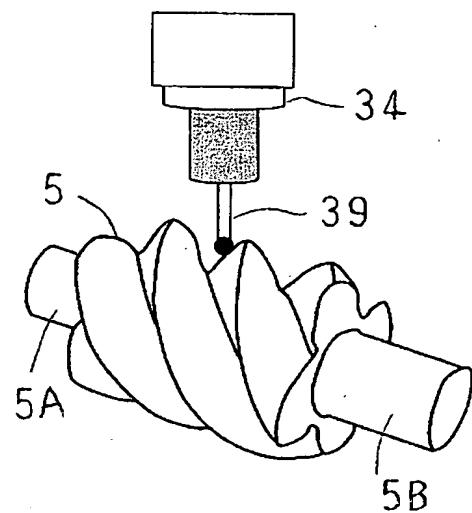
【図5】

図5



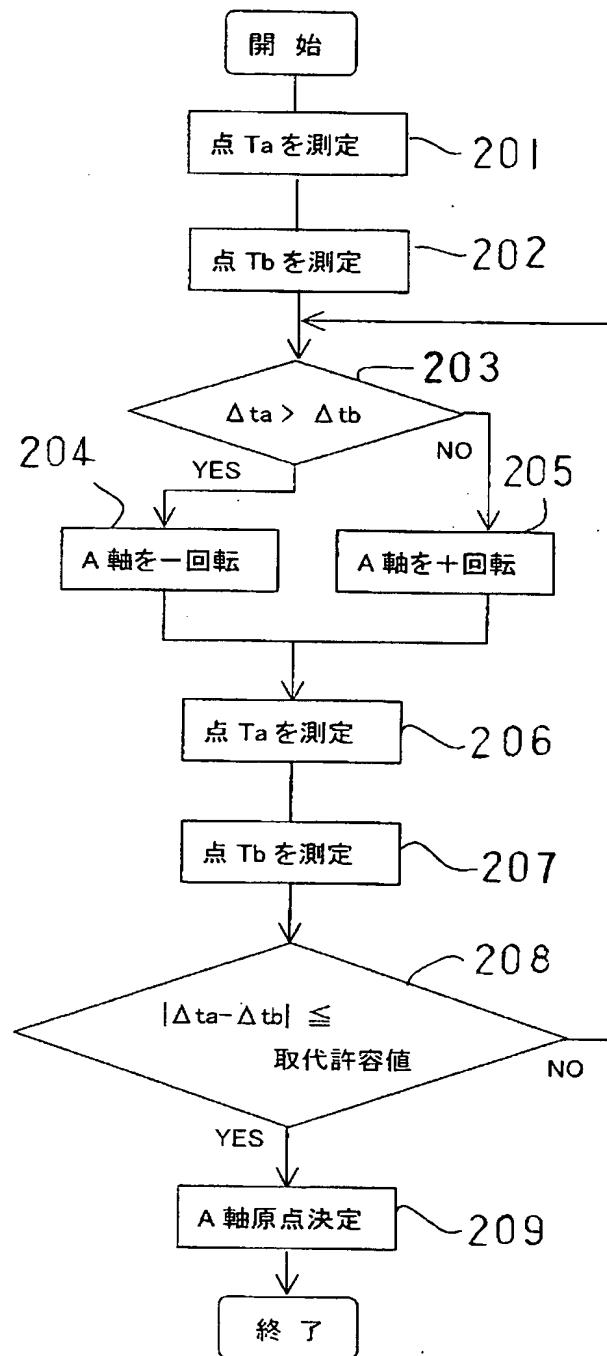
【図6】

図6



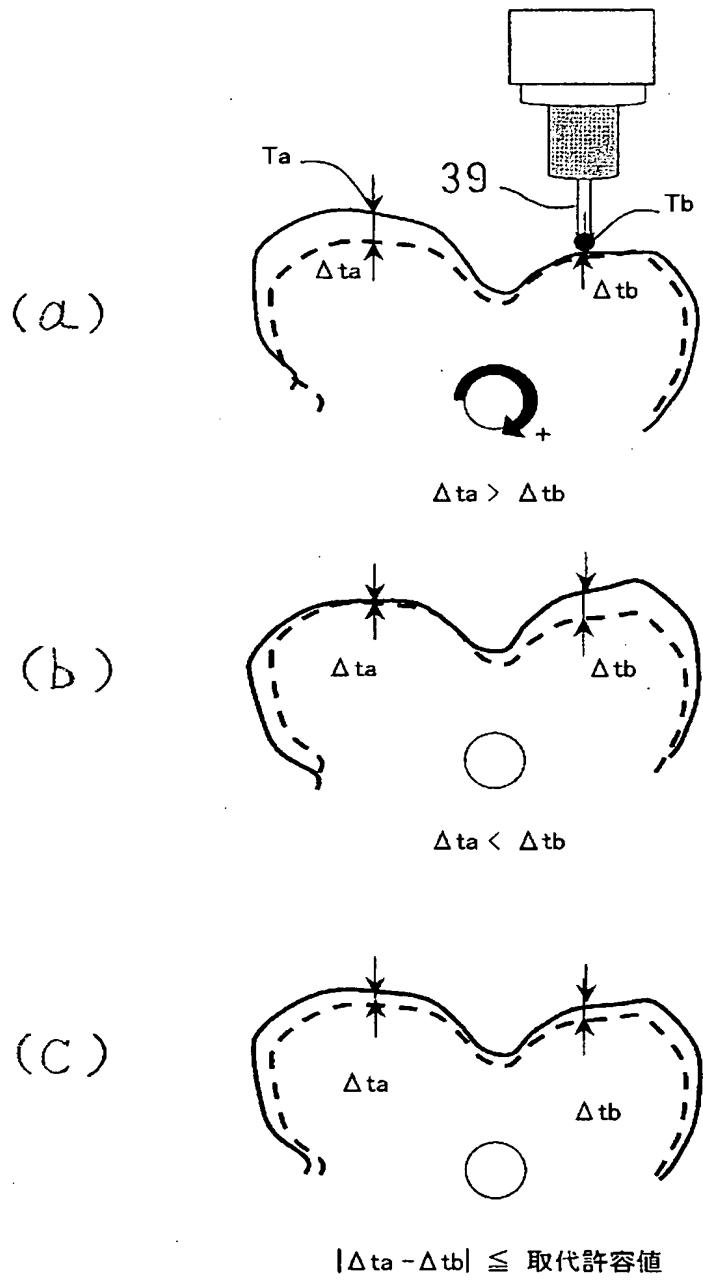
【図7】

図7



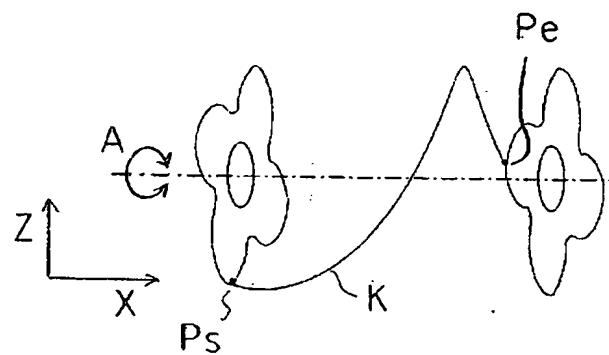
【図8】

図8



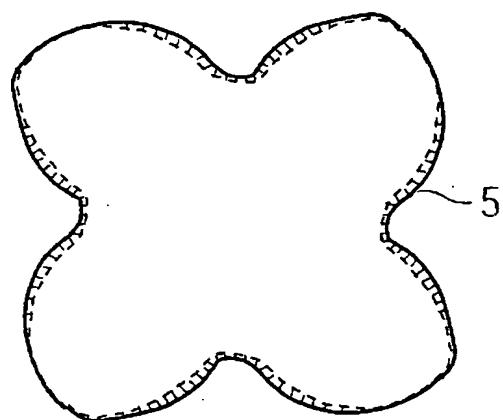
【図9】

図9



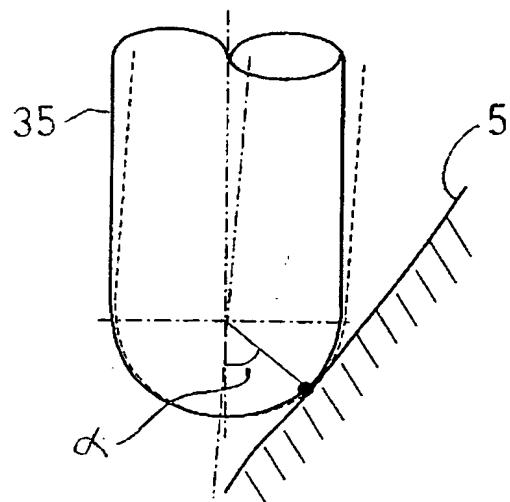
【図10】

図10



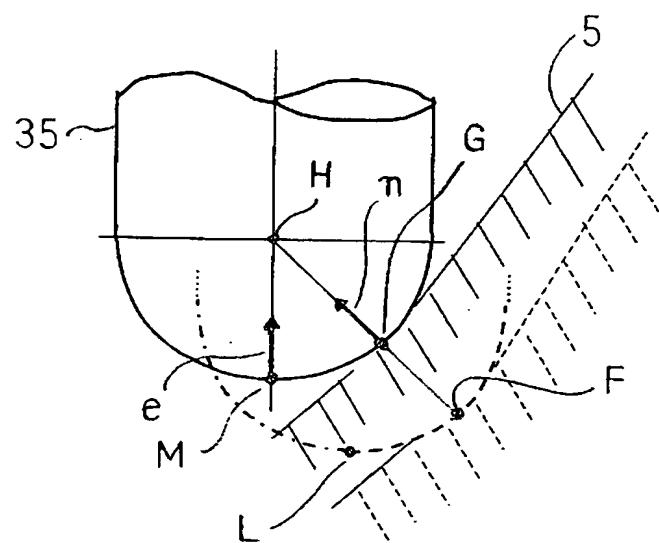
【図11】

図11



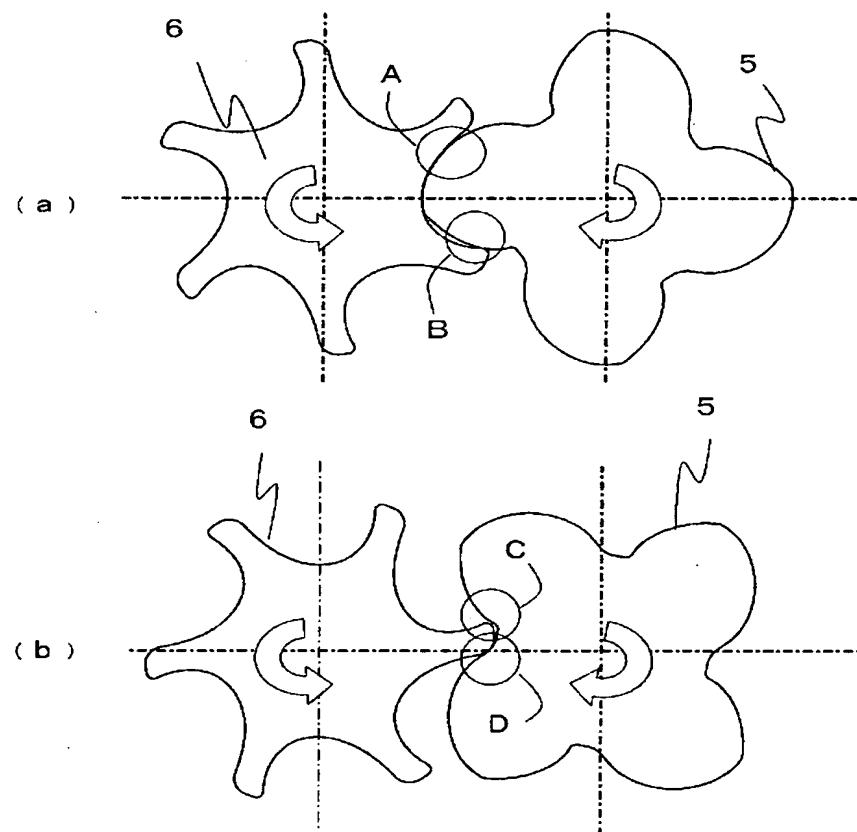
【図12】

図12



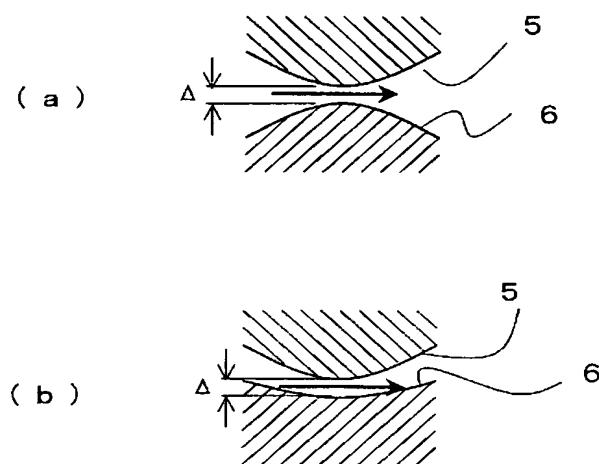
【図13】

図 13



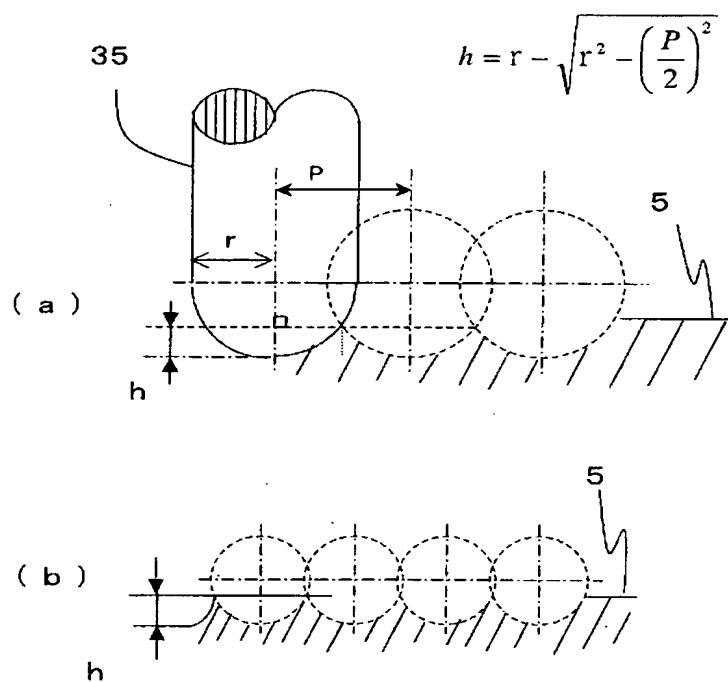
【図14】

図 14



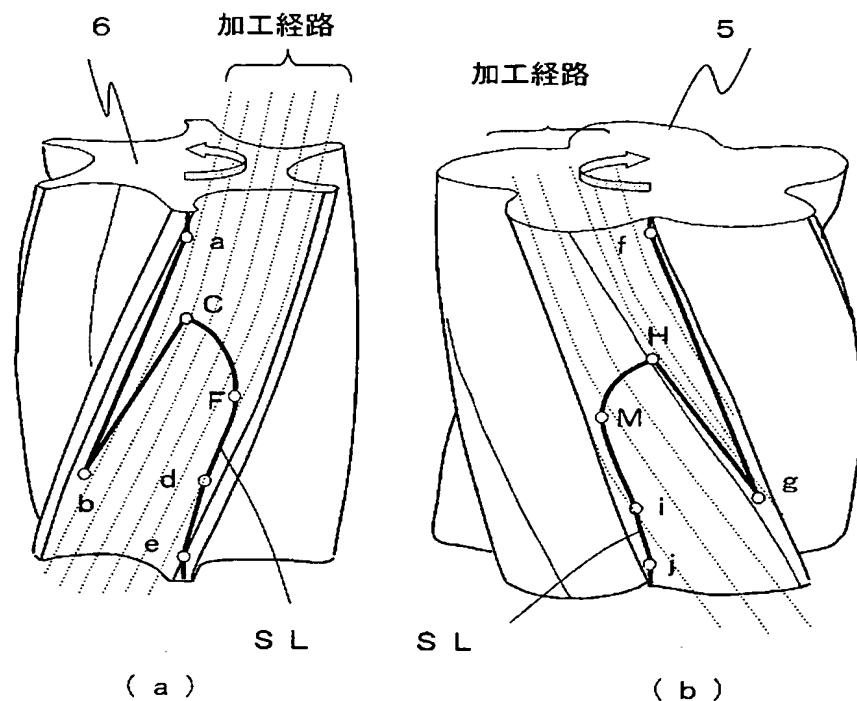
【図15】

図 15



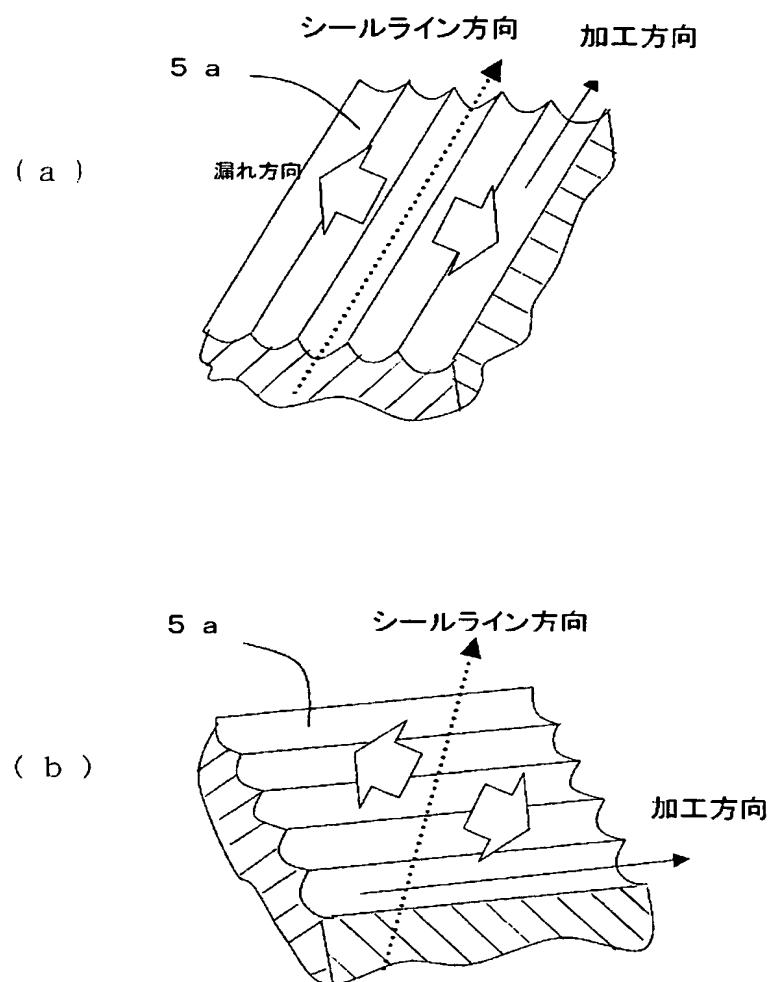
【図16】

図 16



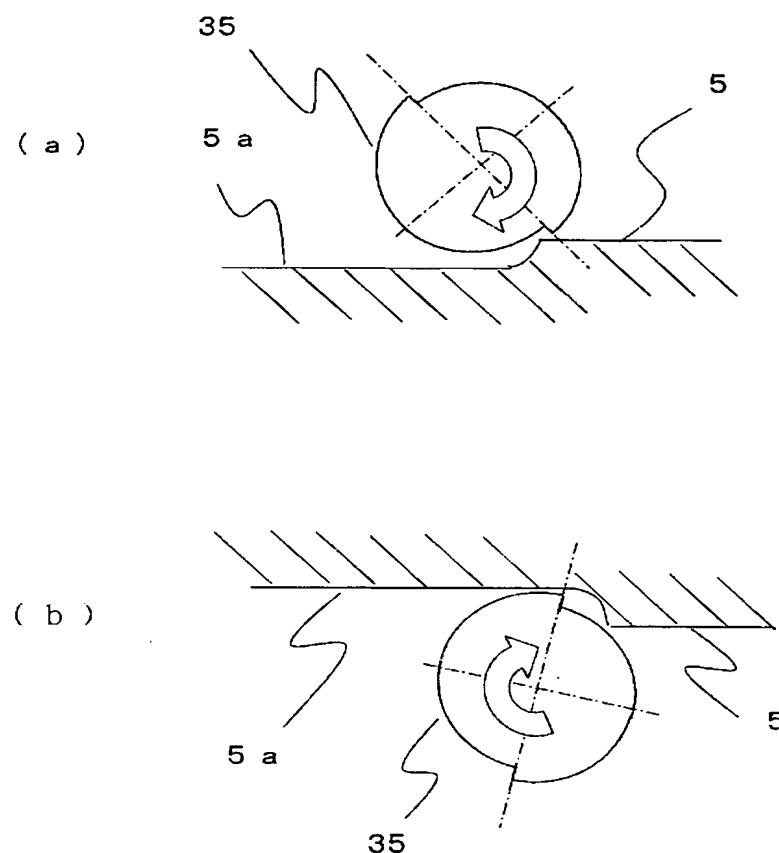
【図17】

図 17

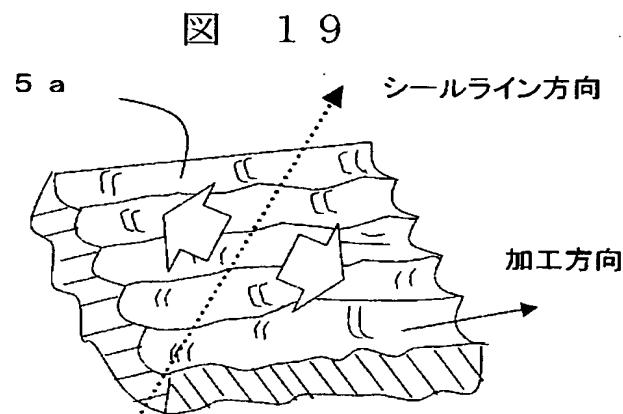


【図18】

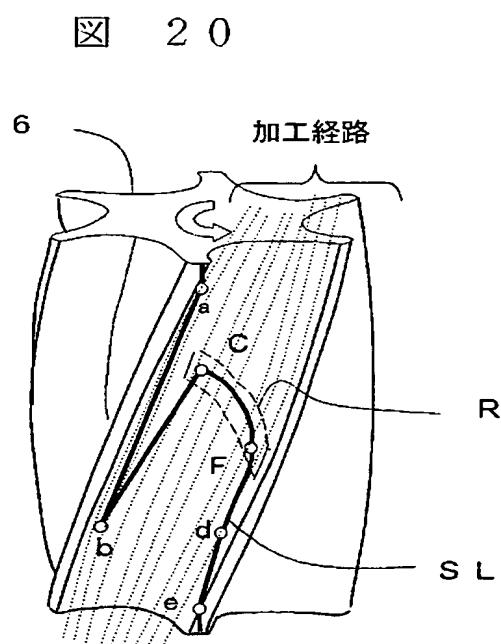
図 18



【図19】



【図20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

圧縮した空気の漏れが少なくて高い圧縮効率が得られるスクリュウ圧縮機を提供することである。

【解決手段】

ケーシング内に軸方向にねじれたスクリュウ溝を形成してある雄ロータ5と雌ロータ6を有し、これら両ロータ5, 6が各ロータに固定したタイミングギヤによって所望の微少間隙を保持しながら回転するスクリュウ圧縮機であり、各ロータにはそれらの各スクリュウ溝にそのねじれ方向に沿った微少深さの凹条5a, 6aを設けている。

【選択図】 図3